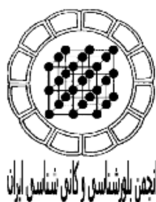
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و ششم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۷، از صفحهٔ ۴۲۳ تا ۴۳۶



عوامل موثر بر تشکیل و توزیع پالیگورسکایت در رسوبات ترشیاری اطراف شهرستان داراب استان فارس و خاک‌های شکل گرفته از آنها

وجیهه شاهرخ، حسین خادمی*

گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۶/۲/۱۷، نسخه نهایی: ۹۶/۷/۲۴)

چکیده: کانی‌های رسی از جمله کانی‌های الیافی، اثر قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک دارند و نمادی از مراحل تکامل خاک هستند. این پژوهش با هدف بررسی وجود پالیگورسکایت و شرایط تشکیل آن در مواد مادری و خاک‌های دوره ترشیاری در شهرستان داراب استان فارس انجام شد. بدین منظور از تعداد ۶ سازند و نیمرخ خاک‌های منطقه نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها با پراش‌سنج پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شدند. براساس مقایسه ترکیب کانی‌شناسی مواد مادری و خاک‌های حاصل، شرایط تشکیل، مقدار و ریختار پالیگورسکایت، سه خاستگاه توارثی، خاکساز و آواری برای این کانی در منطقه پیشنهاد گردید. نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی نشان داد که مقدار اسمکتیت، گچ و رسانندگی الکتریکی، ایلیت، کلسیم و منیزیم محلول و نسبت Mg/Ca موثرترین عوامل در تشکیل و پراکنش پالیگورسکایت در خاک‌های منطقه هستند که بیانگر تشکیل خاکساز و درجای کانی از محلول خاک در شرایط با تبخیر بالاست.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌های رسی؛ پالیگورسکایت؛ ترشیاری؛ مواد مادری؛ تجزیه مولفه‌های اصلی.*

مقدمه

کانی‌های رسی تاثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک دارند. پالیگورسکایت از گروه رس‌های الیافی، کانی غالب بخش رس بسیاری از خاک‌ها و رسوبات مناطق خشک است. وجود این کانی در خاک‌ها و رسوبات ایران برای نخستین بار در سال ۱۹۵۸ [۱] و سپس در سال ۱۹۷۲ [۲] گزارش شد ولی در این بررسی‌ها به منبع این کانی اشاره نشده است.

به طور کلی دو خاستگاه اصلی برای پالیگورسکایت در خاک‌ها مطرح شده است که عبارتند از به ارث رسیدن از ماده مادری و تشکیل به صورت خاکساز خاستگاه توارثی شامل دو فرآیند مهم است: الف) کانی پالیگورسکایت در سنگ بستر وجود دارد و طی فرآیندهای تشکیل خاک از ماده مادری به ارث می‌رسد و ب) پالیگورسکایت از طریق فرآیندهای رسوب‌گذاری آبی یا بادی به نیمرخ خاک اضافه می‌شود. در مورد تشکیل درجای پالیگورسکایت نیز می‌توان به دو فرآیند عمده اشاره کرد: نخست اینکه پالیگورسکایت از هوازدگی کانی‌های دیگر مانند ایلیت، اسمکتیت و کائولینیت به وجود آید و دیگر اینکه می‌تواند از طریق ته‌نشینی از محلول خاک، به همراه کانی‌های تبخیری مانند گچ، کربنات‌ها و نمک تشکیل شود [۳].

بنا بر گزارش خادمی و همکارش [۴]، وجود پالیگورسکایت در مواد مادری ایران مرکزی به بالا آمدن فلات ایران و جدا شدن دریای تتیس از اقیانوس اصلی در اواخر کرتاسه و تشکیل دریاچه‌ها و تالاب‌های کم عمق و شور برای تشکیل رس‌های الیافی نسبت داده می‌شود. این پژوهشگران بیان کردند که ته‌نشینی گچ، باعث افزایش نسبت Mg/Ca و pH شده و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۱۳۳۹۱۳۳۸۳، نمابر: ۰۳۱۳۳۹۱۲۲۵۴، پست الکترونیکی: hkhademi@cc.iut.ac.ir

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

شرایط مناسب برای تشکیل پالیگورسکایت ایجاد می‌شود [۳].

در پژوهشی دیگر، تشکیل درجای پالیگورسکایت در خاک‌های گچی و آهکی جنوب ایران را پیامد رسوب گچ و آهک در این خاک‌ها گزارش کرده‌اند [۵]. برخی بیان نموده‌اند که پالیگورسکایت و اسمکتیت در خاک اغلب با هم وجود دارند و کاهش پالیگورسکایت در سطح خاک را با افزایش اسمکتیت هماهنگ دانسته‌اند [۶].

تشکیل کانی پالیگورسکایت در خاک نیازمند شرایط زمین-شیمیایی ویژه‌ای است. یکی از روش‌های آماری مورد استفاده در تشخیص موثرترین عوامل در تشکیل و پراکنش این کانی، تجزیه مولفه‌های اصلی است. تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) از متداول‌ترین روش‌های آماری چند متغیره است که روابط مشاهده شده بین چند متغیر را نشان می‌دهد و اهمیت نسبی متغیرهای موثر بر یک پدیده را بیان می‌کند. تاکنون از روش تجزیه مولفه‌های اصلی برای اهداف متفاوتی در زمینه‌هایی چون خاکشناسی، آب‌شناسی، آب و هواشناسی و محیط زیست استفاده شده است که بیانگر کارایی این روش است.

با استفاده از تجزیه مولفه‌های اصلی و همبستگی بین متغیرهای شیمیایی و کانی‌شناسی توانسته‌اند رسوبات قاره‌ای با سن پالئوژن در کشور تونس را بر اساس خاستگاه و طبیعت کانی‌ها به خوبی گروه‌بندی کنند [۷]. در ایلی‌نویز امریکا این روش را برای تعیین شاخص‌های کیفیت خاک در زمین‌های زیر کشت بدون شخم به کار برده‌اند [۸]. همچنین، با استفاده از روش تجزیه مولفه‌های اصلی، ویژگی‌های خاک و عوارض زمینی موثر بر تغییرپذیری عملکرد ذرت و سویای زمین‌های میشیگان تعیین شده است [۹].

در مناطق مختلف ایران به ویژه ایران مرکزی، بررسی‌های متعددی درباره حضور پالیگورسکایت در مواد مادری و خاک‌ها انجام شده است. رسوبات ترشیاری در استان فارس از گسترش چشمگیری برخوردارند و از جمله مهمترین مواد مادری خاک‌های تشکیل شده در این منطقه هستند. اگرچه وجود این کانی در شهرستان داراب گزارش شده است [۱۰] ولی شرایط تشکیل مختلف و وجود این کانی در مواد مادری گوناگون با سن ترشیاری و خاک‌های برآمده از آنها در این منطقه بررسی نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی عوامل موثر در تشکیل و پراکنش کانی پالیگورسکایت در مواد مادری و خاک‌های تشکیل شده بر سازندهای مختلف دوره ترشیاری در شهرستان داراب انجام گرفت.

روش کار

منطقه مورد بررسی در شهرستان داراب در جنوب شرقی استان فارس و در گستره طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و ۲۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی واقع است. میانگین سالانه دمای هوا ۲۲ درجه سانتیگراد، میانگین سالیانه بارندگی ۲۶۴٫۶ میلیمتر [۱۱]، نظام رطوبتی خاک تمپ‌یوستیک و نظام دمایی خاک هایپرترمیک است [۱۲].

برای بررسی حضور پالیگورسکایت و سایر کانی‌های رسی در مواد مادری دوران سوم زمین‌شناسی، براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان، از ۶ نمونه ماده مادری مهم منطقه نمونه‌برداری شد. پس از بازدیدهای صحرایی، از همه افق‌های ژنتیکی نیمرخ خاک‌های گسترش یافته بر رسوب‌های ترشیاری با سنین پلیوسن- پلیوستوسن، پلیوسن، میوسن، پالئوسن- ائوسن، کرتاسه- پالئوسن نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری از خاک‌ها و مواد مادری به صورت مرکب و دو تا سه تکرار با توجه به گستردگی سازند انجام شد. جدول ۱ ویژگی‌های زمین‌شناسی نقاط مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ معرفی نمونه‌ها و سن مواد مادری خاک‌های مورد بررسی.

شماره نمونه	سازند	سن	نوع رسوب
۱	بختیاری (PLQb)	پلیوسن-پلیوستوسن	کنگلومرا، ماسه‌سنگ
۲	آغاجاری (Pla)	پلیوسن	ماسه‌سنگ آهکی، کنگلومرا
۳	عضو چمپه (Mcp)	میوسن	سنگ آهک، دولومیت، گچ
۴	رازک (Mrz)	میوسن	مارن، سنگ آهک
۵	جهرم (PEj)	پالئوسن-ائوسن	دولومیت، سنگ آهک
۶	ساچون (KPes)	کرتاسه-پالئوسن	مارن آهکی، گچ، دولومیت

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

نمونه‌های سنگ و خاک پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل شده، توسط آسیاب خرد شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. رسانندگی الکتریکی (EC) و pH نمونه‌ها در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد [۱۳]. مقدار آهک به روش تیتر کردن برگشتی و گچ به روش استون، کربن آلی به روش اکسایش تر و بافت خاک به روش پیپت تعیین گردید [۱۳]. مقدار کلسیم، منیزیم و سیلیسیم محلول در عصاره اشباع با استفاده از (ICP-MS) مدل Agilent 7500ce اندازه‌گیری شد.

برای شناسایی کانی‌های رسی، ابتدا گچ و نمک‌های محلول، کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آهن آزاد نمونه‌ها به ترتیب با استفاده از آب مقطر، بافر استات سدیم- اسید استیک ۱ نرمال، آب اکسیژنه ۳۰ درصد و بافر سیترات- بی‌کربنات- دی‌تیونات سدیم حذف شدند. پس از آماده‌سازی‌های اولیه، بخش رس نمونه‌ها تفکیک شد [۱۴]. مقدار ۴۰ میلی‌گرم از رس هر نمونه تحت تیمارهای اشباع‌سازی با کلرور منیزیم و اشباع‌سازی با کلرور پتاسیم قرار گرفت و تیمار بخار اتیلن‌گلیکول بر نمونه‌های اشباع از منیزیم و تیمار گرمایی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد بر نمونه‌های اشباع از پتاسیم انجام شد [۱۳]. نمونه‌های اشباع شده توسط پراش‌سنج پرتو ایکس مدل Bruker AXS, D8 با تابش تکفام Cu-Kα با سرعت روبش ۰/۵ درجه در هر دقیقه در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه پلی تکنیک کارتاخنا در اسپانیا بررسی شدند و طیف‌های پراش پرتو ایکس از تیمارهای مختلف هر نمونه تهیه شدند. تجزیه نیمه‌کمی کانی‌های رسی در نمونه‌های مورد بررسی به روش جونز و همکاران انجام شد [۱۵].

برای بررسی ریخت‌شناسی پالیگورسکیت در حالت طبیعی و مقادیر نسبی آن، نمونه‌های دست نخورده از خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی با چسب کربن روی پایه‌های آلومینیومی چسبانده شده و با لایه‌ای از طلا پوشش داده شدند. این نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل فیلیپس بررسی شدند.

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی مهم‌ترین عوامل موثر در تشکیل و توزیع کانی پالیگورسکیت، تجزیه مولفه‌های اصلی انجام شد. تجزیه مولفه‌های اصلی برای مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ و با اعمال بیشترین دگرسان پذیری ممکن در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد. چرخش واریماکس برای برآورد سهم واریانس هر یک از متغیرها در هر یک از مولفه‌های اصلی استفاده شد [۱۶]. برای تعیین چگونگی رابطه بین مولفه‌های اصلی، بررسی رگسیونی چندمتغیره انجام شد. با انتخاب مناسب‌ترین مولفه‌های اصلی برای برآورد مقدار پالیگورسکایت، معادله رگسیونی خطی چندمتغیره (روش رگسیون گام به گام) مناسب ارائه شد. معنی‌داری کلیه ضرایب تبیین در سطح ٪۵ و ٪۱ نیز مورد سنجش قرار گرفت.

نتایج و بحث

کانی‌شناسی رسی مواد مادری و خاک‌ها

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد مادری و خاک‌های مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده‌اند. براساس این نتایج، همه نمونه‌های مورد بررسی دارای مقادیر متوسط تا زیاد آهک هستند. pH نمونه‌ها نیز از ۷/۳ تا ۸/۲ متغیر است که نشان‌دهنده وجود شرایط قلیایی در زمان تشکیل آنهاست. میزان رسانندگی الکتریکی و گچ خاک‌ها در مواد مادری مورد بررسی به ترتیب از ۰/۰۴ تا ۱/۵ دسی زیمنس بر متر و ۰/۹۴ تا ۴/۱ درصد تغییر می‌کند.

نتایج کانی‌شناسی بخش رس نمونه‌های مواد مادری و خاک‌های دوران سوم زمین‌شناسی در شکل ۱ دیده می‌شود. پالیگورسکیت در بررسی‌های پرتو ایکس دارای یک قله شدید مربوط به دسته صفحات با فاصله ۱/۰۴ تا ۱/۰۶ نانومتر و قله دیگری با شدت کمتر در ۰/۶۴ نانومتر است [۱۳]. تیمار گرمایی ۵۵۰ درجه سانتیگراد باعث متلاشی شدن کانی و حذف این قله ها می‌شود. نزدیکی قله‌های ۱/۰۴ و ۱/۰ نانومتر شناسائی پالیگورسکیت را با مشکل مواجه می‌سازد به همین دلیل، معمولاً از قله ۰/۶۴ نانومتر برای شناسایی پالیگورسکیت استفاده می‌گردد [۱۷].

وجود قله ۱/۴۵ نانومتر در تیمار منیزیم که با تیمار اتیلن گلیکول به ۱/۵ تا ۱/۸ نانومتر تغییر مکان می‌دهد نشان‌دهنده وجود اسمکتیت است، ولی عدم تغییر مکان قله در تیمار اتیلن گلیکول بیانگر حضور کانی کلریت است. به دلیل همپوشی قله‌های مرتبه دوم و چهارم کلریت با مرتبه اول و دوم کائولینیت، برای شناسایی کائولینیت باید از قله مرتبه سوم آن (۰/۲۴ نانومتر) استفاده کرد.

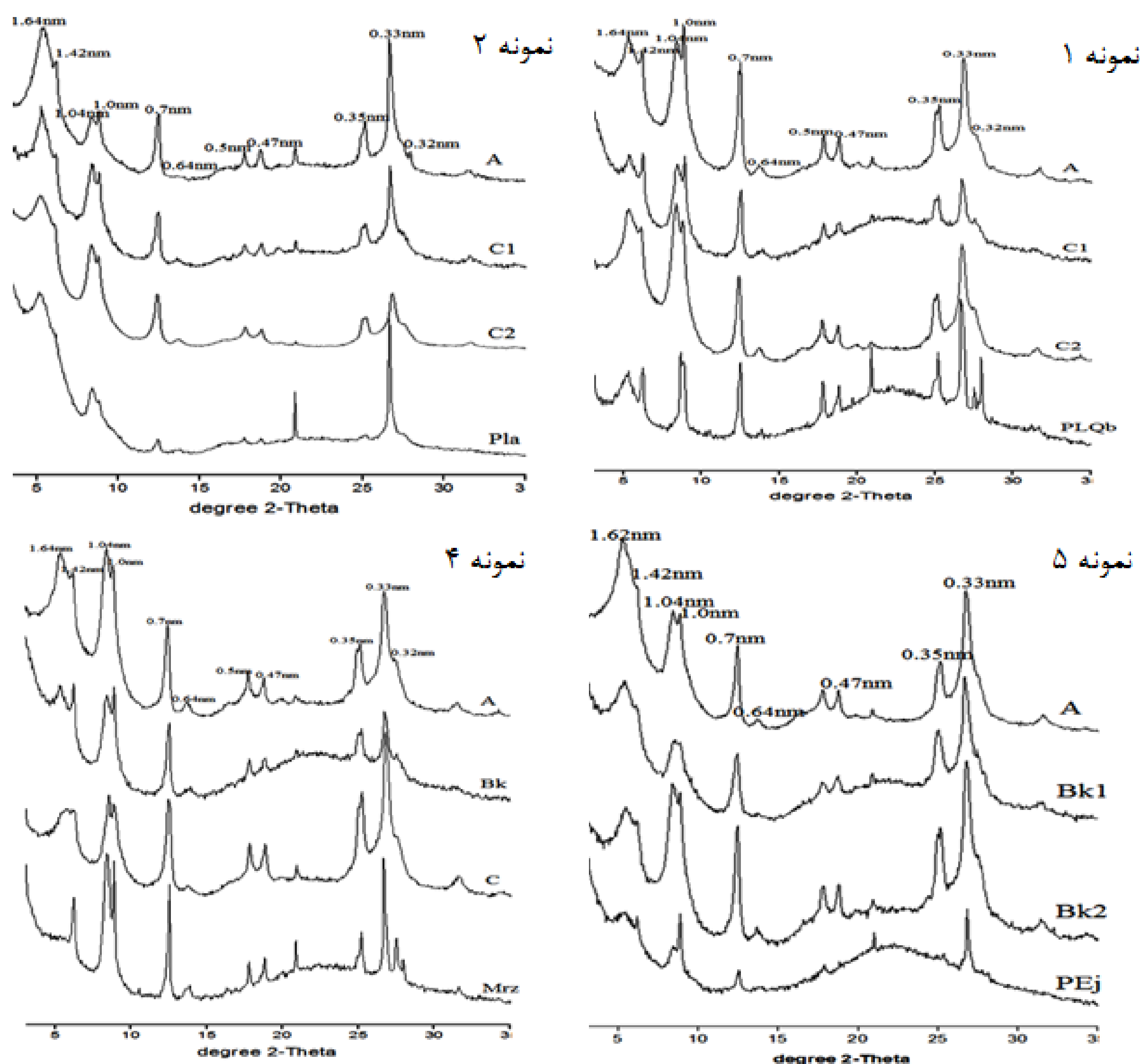
[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

پراش نگاشت‌های پرتو ایکس حاکی از حضور کانی‌های کوارتز، کائولینیت، میکا، پالیگورسکایت، کلریت و اسمکتیت با مقادیر متفاوت در نمونه‌های با سنین مختلف است. با توجه به وجود این کانی‌ها هم در مواد مادری و هم در خاک‌های مورد بررسی، به نظر می‌رسد که خاستگاه این کانی‌ها در خاک‌های مورد بررسی توارثی است. حیدری و همکاران گزارش کرده‌اند [۱۸] که در جنوب ایران بخش رس خاک‌های ورتی‌سول بیشتر از کانی پالیگورسکایت تشکیل شده است. این پژوهشگران حضور پالیگورسکایت در این خاک‌ها را به ارث رسیده از رسوبات ترشیاری واقع در منطقه ارزیابی نموده‌اند. نتایج پژوهشی بر خاک‌های موجود در یک توالی زمانی در منطقه سروستان استان فارس [۱۹] بیانگر این بود که بخشی از پالیگورسکایت موجود در خاک‌ها، از مواد مادری آهکی به ارث رسیده است هرچندکه فرایندهای خاکسازی نیز در حضور این کانی در خاک‌ها بسیار موثر است. بررسی خاک‌های گچی گسترش یافته بر رسوب‌های ترشیاری در بخشی از ایران مرکزی [۳] نشان داد که فراوانی پالیگورسکایت در برخی از این خاک‌ها به دلیل پایداری این کانی در شرایط خشک و وجود آن در سنگ‌های رسوبی منطقه بوده است. با بررسی خاک‌های زراکرپت منطقه چایوایا در مراکش، حضور پالیگورسکایت در این خاک‌ها را به ارث رسیده از مارن‌های کرتاسه گزارش کرده‌اند [۲۰].

جدول ۲ برخی ویژگی‌های مواد مادری دوران سوم و خاک‌های برآمده از آنها در منطقه مورد بررسی

نمونه	عمق	EC	pH	آهک	گچ	کربن آلی OC	شن	سیلت	رس	Mg^{2+}/Ca^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H_4SiO_4
	(cm)	(dSm^{-1})		(%)							(mgl^{-1})		
سازند PLQb و نیمرخ خاک گسترش یافته روی رسوب‌های آن													
PLQb	–	۰٫۰۴	۸٫۲	۹۸	۱٫۶۴	٫۰۳۶	–	–	–	۰٫۰۵	۱۹	۱٫۰۴	۰٫۹
A	۰-۱۰	۰٫۴۹	۷٫۳	۴۲٫۵	۱٫۸	۳٫۲۴	۵۸	۳۴	۸	۰٫۰۹	۲۵٫۴	۲٫۲۵	۶٫۴۴
C1	۱۰-۶۰	۰٫۳	۷٫۶	۴۱	۱٫۸۴	۰٫۷۴	۳۲	۵۲	۱۶	۰٫۰۸	۵۰٫۸	۴٫۴	۶٫۲۴
C2	+۶۰	۰٫۲۳	۷٫۸	۳۳	۲٫۰۲	۰٫۸۶	۲۸	۵۲	۲۰	۰٫۰۸	۵۵٫۲	۴٫۷	۶٫۸
سازند Pla1 و نیمرخ خاک گسترش یافته روی رسوب‌های آن													
Pla	–	۰٫۱۷	۸٫۱	۹۸	۲٫۲	٫۰۳۸	–	–	–	۰٫۰۸	۳۳٫۳	۲٫۷۴	۲٫۴
A	۰-۱۰	۰٫۸۶	۷٫۶	۵۶	۱٫۸۹	۰٫۹۲	۵۴	۳۶	۱۰	۰٫۱۴	۷۷٫۲	۱۰٫۷۷	۵٫۲۴
C1	۱۰-۵۰	۱٫۳	۷٫۵۷	۵۴٫۵	۱٫۹۵	۰٫۸۶	۵۰	۳۸	۱۲	۰٫۲	۷۹٫۸	۱۵٫۷	۱۱٫۱
C2	۵۰-۱۲۰	۰٫۵۲	۷٫۹	۷۰٫۵	۲٫۱	۰٫۴۷	۸۰	۱۴	۶	۰٫۲۱	۸۴٫۴	۱۷٫۶	۱۱٫۸
سازند Mcp و نیمرخ خاک گسترش یافته روی رسوب‌های آن													
Mcp	–	۰٫۱۳	۸٫۱	۹۹	۰٫۹۴	۰٫۰۴۲	–	–	–	۰٫۰۴	۱۶٫۹	۰٫۶۷	۰٫۷۱
A	۰-۱۰	۰٫۴۴	۷٫۵	۴۵٫۵	۱٫۶	۳	۴۸	۳۸	۱۴	۰٫۱۱	۴۸٫۸	۵٫۲	۱۵٫۷۷
C	۱۰-۶۰+	۰٫۲۹	۷٫۶	۴۷	۱٫۴	۱٫۵۴	۴۰	۴۲	۱۸	۰٫۱۳	۴۲٫۶	۵٫۶	۱۳٫۸
سازند Mrz و نیمرخ خاک گسترش یافته روی رسوب‌های آن													
Mrz	–	۰٫۱۵	۸٫۰۶	۹۸	۲٫۶۴	۰٫۰۲۹	–	–	–	۰٫۱۳	۲۷٫۵	۳٫۷	۲٫۸
A	۰-۱۰	۰٫۲۲	۷٫۸	۴۴٫۵	۳٫۲۴	۱	۵۰	۳۶	۱۴	۰٫۰۵	۳۷٫۵	۲	۶٫۸
Bk	۱۰-۵۰	۰٫۲۲	۷٫۸۶	۴۳٫۵	۳٫۲	۰٫۸۶	۴۶	۴۰	۱۴	۰٫۰۶	۱۰٫۵	۰٫۶۴	۱٫۹
C	+۵۰	۰٫۴۲	۷٫۷۵	۵۱٫۵	۳٫۱۳	۰٫۱۵	۴۲	۳۸	۲۰	۰٫۰۵	۳۶٫۲	۱٫۹۶	۶٫۵۴
سازند PEj و نیمرخ خاک گسترش یافته روی رسوب‌های آن													
PEj	–	۰٫۱	۸٫۱	۹۸٫۵	۲٫۵۸	۰٫۰۱۸	–	–	–	۰٫۰۴	۱۸	۰٫۷۵	۰٫۹۷
A	۰-۱۵	۰٫۴۲	۷٫۸	۵۵٫۵	۳٫۱	۱٫۹	۲۲	۵۰	۲۸	۰٫۰۷	۳۵٫۷	۲٫۴۳	۶٫۴
Bk1	۱۵-۶۸	۱٫۵	۷٫۷	۵۳٫۵	۳٫۳	۰٫۹	۲۲	۵۲	۲۶	۰٫۰۵	۳۸	۱٫۹۵	۶٫۸۶
Bk2	+۶۸	۰٫۹۲	۷٫۷	۵۰٫۵	۴٫۱	۰٫۵۶	۲۶	۵۲	۲۲	۰٫۲۵	۳۱	۷٫۹	۹٫۹۶
سازند KPes و نیمرخ خاک گسترش یافته روی رسوب‌های آن													
KPes	-	۰٫۱	۸٫۱۶	۹۹	۲٫۹	٫۰۲۳	–	–	–	۰٫۰۸	۱۷٫۷	۱٫۴۳	۱٫۷
A	۰-۲۰	۰٫۳۸	۷٫۷	۵۸	۳٫۱	۰٫۸۳	۴۶	۴۴	۱۰	۰٫۰۸	۴۲	۳٫۷	۵٫۶
Bk	۲۰-۶۵	۰٫۴۷	۷٫۷	۵۸٫۵	۳٫۴	۰٫۴۵	۴۸	۴۲	۱۰	۰٫۰۹	۵۵٫۱	۵	۴٫۳
2C	۶۵-۸۰	۰٫۲۲	۸	۶۶	۲٫۱	۰٫۲۱	۶۶	۲۶	۸	۰٫۱۰۲	۴۸٫۵	۴٫۹۴	۳٫۸
3B'k	۸۰-۱۱۵	۰٫۳	۸	۵۷	۳٫۱	۰٫۰۶	۵۰	۴۰	۱۰	۰٫۱	۴۹٫۸	۴٫۸	۳٫۹

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]



شکل ۱ پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس از تیمارهای منیزیم اشباع و اتیلن‌گلیکول در بخش رس مواد مادری و خاک‌های مورد بررسی نمونه‌های ۱، ۲، ۴ و ۵ که به ترتیب وابسته به سازندهای بختیاری، آغاجاری، رازک و جهرم هستند.

پراش نگاشت‌های پرتو ایکس نشان می‌دهد که پالیگورسکایت در مقادیر کم تا زیاد در همه خاک‌های مورد بررسی وجود دارد که بیانگر وجود شرایط مناسب برای تشکیل این کانی در دوران سوم زمین‌شناسی در منطقه مورد بررسی است. شکل‌های الیافی به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی نیز حضور پالیگورسکایت را در نمونه‌ها تأیید می‌کند (شکل ۲). نتایج بررسی مواد مادری بیانگر این است که سازندهای با سن میوسن و پلیوسن دربردارنده مقادیر قابل توجهی کانی پالیگورسکایت هستند و در مواد مادری با سن پالئوسن- ائوسن مقدار کمتری از کانی یادشده یافت شد.

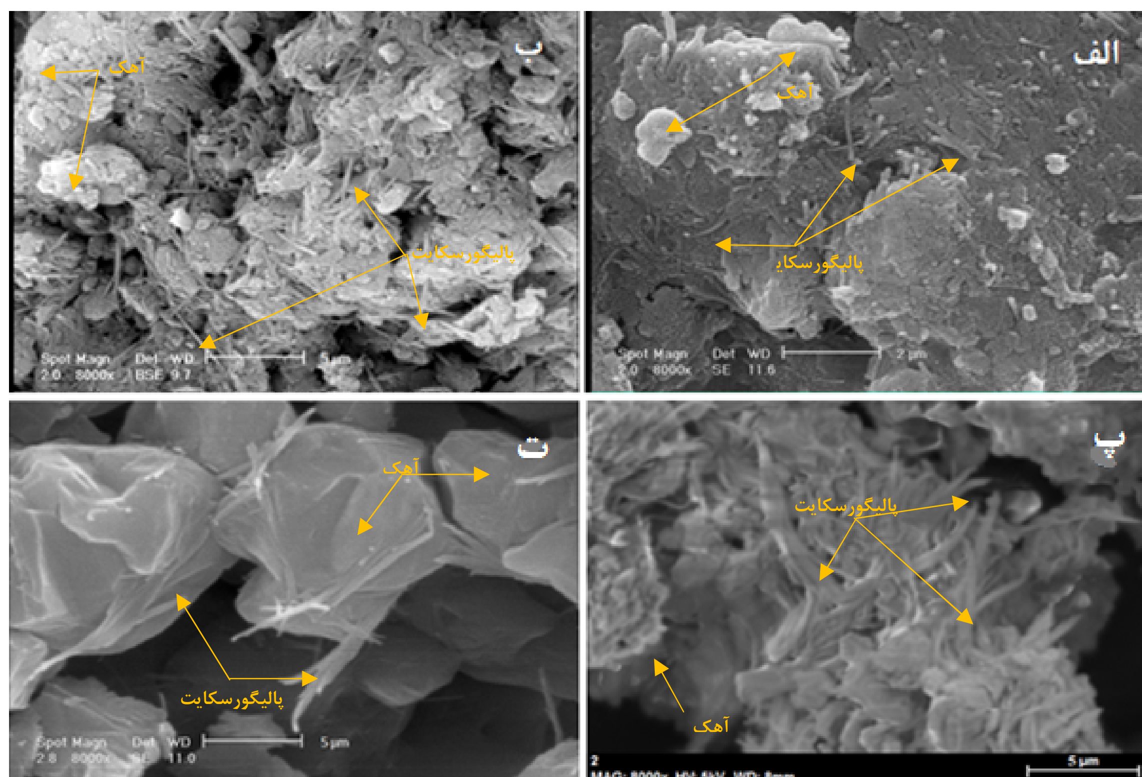
تجزیه نیمه‌کمی کانی‌های رسی نشان داد که در همه نمونه‌های خاک به جز نمونه‌های مربوط به سازند آغاجاری، مقدار پالیگورسکایت بیش از مواد مادری آنهاست. نتایج نشان می‌دهند که بخشی از پالیگورسکایت موجود در خاک‌ها ممکن است خاستگاه خاکزاد داشته باشند. البته احتمال اینکه حضور این کانی در خاک‌های مورد بررسی به صورت آواری و در نتیجه انتقال از طریق باد یا آب باشد را نیز باید در نظر داشت. ریزنگاشت‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد که این کانی بیشتر به صورت رشته‌هایی به طول ۵ تا ۱۰ میکرون و با ریختاری در هم تنیده و در بیشتر موارد همراه با کانی‌های تبخیری دیده می‌شود (شکل ۲). همراهی پالیگورسکایت و کانی‌های تبخیری بیانگر مساعد بودن شرایط برای تشکیل این کانی در خاک‌ها و رسوب‌های نقاط مورد بررسی است. ریخت کشیده و بلند پالیگورسکایت در این تصاویر دلالت بر تشکیل

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

درجای کانی دارد. بررسی اثر آب زیرزمینی شور و قلیا بر تشکیل خاک در مناطق نیمه‌خشک جنوب ایران، خاستگاه خاکساز را برای حضور پالیگورسکایت در این خاک‌ها نشان داده است [۱۹]. همچنین تشکیل خاکساز این کانی در اثر بالا آمدن آب زیرزمینی در استان فارس گزارش شده است [۲۱].

خاک‌های گسترش یافته بر رسوب‌های با سن پلیوسن (Pla) از مقدار کمتری پالیگورسکایت نسبت به ماده مادری آن برخوردار است. کمتر بودن مقدار این کانی در این خاک‌ها و توزیع تقریباً یکنواخت آن در نیمرخ خاک مورد بررسی احتمالاً بیانگر این است که شرایط ویژه تشکیل این کانی در این خاک-ها فراهم نبوده و خاستگاه حضور کانی یاد شده از رسوب‌های ترشیاری به ارث رسیده است. پژوهشی در بخش‌های شرقی عربستان مقادیر قابل توجه کانی پالیگورسکایت در سنگ آهک-های میوسن - پلیوسن و خاک‌های برآمده از آنها را با خاستگاه توارثی نشان داد [۲۲]. بررسی‌های حجتی و همکاران [۲۳] حضور الیاف بلند پالیگورسکایت را در خاک‌های برآمده از رسوبات دوره پلیوسن در ایران مرکزی نشانه تشکیل درجای این کانی معرفی کرد. همچنین، در رسوبات نئوژنی دشت لوت در ایران مرکزی مقادیر زیادی از این کانی گزارش شده است [۲۴]. در این پژوهش با مشاهده پوشش بلورهای پالیگورسکایت بر بلورهای گچ پیشنهاد شد که پالیگورسکایت پس از شکل گرفتن ذرات گچ تشکیل گردیده است.

مقدار کانی پالیگورسکایت در ماده مادری با سن کرتاسه-پالئوسن (سازند KPes) و خاک‌های گسترش یافته از آن تقریباً به جز افق Bk یکسان بوده و دارای توزیع نیمرخی یکنواخت است. بر این اساس پالیگورسکایت موجود در این خاک‌ها به احتمال زیاد دارای خاستگاه توارثی است. در تأیید این مطلب، در تصویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز الیاف بلند و در هم تنیده پالیگورسکایت به طول ۵ تا ۱۰ میکرون به وفور دیده می‌شود (شکل ۲). افق کلسیکی این نیمرخ، دارای مقدار بیشتری پالیگورسکایت است که یافته‌های پیشین بیانگر این هستند که وجود پالیگورسکایت در افق کلسیکی در مناطق خشک و نیمه خشک معمول است [۴، ۲۵]. احتمالاً با رسوب کربنات کلسیم، فعالیت یون منیزیم افزایش یافته و شرایط تشکیل پالیگورسکایت فراهم شده است [۲۶].



شکل ۲ ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی از الف) نمونه مربوط به سازند بختیاری، ب) نمونه مربوط به سازند رازک، پ) نمونه مربوط به سازند جهرم، ت) نمونه مربوط به سازند ساچون.

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

نتایج بررسی‌های خرمالی و همکاران [۲۷] بر کانی‌های رسی اواخر مزوزئیک- سنوزئیک در بخشی از کوه‌های زاگرس در جنوب ایران عدم حضور یا مقدار کم پالیگورسکایت را نشان داد. آنها بیان نمودند که حضور پالیگورسکایت در رسوبات اواخر پالئوسن به احتمال زیاد خاستگاه نئوژنی درجای کانی یاد شده مربوط است. پژوهشگرانی دیگر [۲۸] حضور کانی‌های مرکب ایلیت-اسمکتیت، اسمکتیت، پالیگورسکایت، کلریت، کائولینیت و ایلیت را در سنگ‌ها و رسوبات پالئوژن در منطقه کپه داغ، شمال شرقی ایران، گزارش کردند که در خاک‌های تشکیل یافته در آنها به ارث رسیده‌اند. آنها بیان کردند که وجود همزمان کانی‌های اسمکتیت-ایلیت با پالیگورسکایت بیانگر شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و خشکسالی‌های فصلی در این منطقه است که این شرایط از دوره کرتاسه تا پالئوسن در این بخش از کشور حاکم بوده است [۲۸].

در سازند جهرم وابسته به دوره های پالئوسن-ائوسن (PEj) و خاک‌های تشکیل شده بر آنها، پالیگورسکایت به مقدار کمتری نسبت به سن‌های دیگر وجود دارد و الیاف آن در تصویر ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز گویای این مطلب است (شکل ۲). مقایسه مقدار کانی پالیگورسکایت در رسوب-های با سن پالئوسن- ائوسن با خاک‌های گسترش یافته بر آنها نشان دهنده غالب بودن این کانی در خاک‌هاست. فراوانی بیشتر پالیگورسکایت نسبت به ماده مادری نشان می‌دهد که دست کم بخشی از این کانی در خاک‌های بررسی شده خاستگاه خاکزایی دارد. حجتی و همکاران [۲۳] در بررسی رسوبات ترشیاری ایران مرکزی بیان کردند که پالیگورسکایت در مواد مادری پالئوسن، ائوسن و الیگوسن استان اصفهان حضور ندارد. در مقابل، مقدار قابل توجهی از این کانی در رسوبات میوسن و پلیوسن یافت شد. همچنین، نمودار پایداری سیستم پالیگورسکایت-اسمکتیت بیانگر ناپایداری اسمکتیت و تبدیل آن به پالیگورسکایت در نمونه‌های با سن نوتشکیلی بود [۲۳]. در پژوهشی دیگر [۲۹]، حضور پالیگورسکایت در افق-های کلسیکی، ژیپسیک و سالیک در برخی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک استان فارس به خاستگاه خاکساز و در نتیجه تبدیل دیگر کانی‌های رسی به این کانی نسبت داده شد.

نتایج بررسی مواد مادری با سن میوسن و خاک‌های شکل گرفته بر آنها نشان داد که پالیگورسکایت در این خاک‌ها غالب است. بیشتر بودن این کانی در مقایسه با ماده مادری بیانگر این است که به احتمال زیاد بخشی از کانی پالیگورسکایت خاستگاه خاکزاد دارد. حضور همزمان پالیگورسکایت و افق‌های انباشت آهک احتمالا به علت شرایطی زمین‌شیمیایی است که در این افق‌ها پس از رسوب کلسیم به شکل آهک پدید می‌آید. در این شرایط با افزایش مقدار منیزیم محلول، محیط مناسبی برای تشکیل و حضور پالیگورسکایت فراهم می آید [۳۰]. با بررسی گسترش این کانی در رسوبات با سن میوسن و خاک‌های برآمده از آنها در ایران مرکزی گزارش شد که پالیگورسکایت موجود در این خاک‌ها از ماده مادری خاستگاه گرفته است [۲۳]. پژوهشگران دیگر با بررسی منبع پالیگورسکایت در اریدی‌سول‌ها گچی و رسوبات وابسته به آنها مربوط به دوره الیگو- میوسن در ایران مرکزی، دو خاستگاه خاکساز و توارثی را برای حضور این کانی در این خاک‌ها پیشنهاد دادند [۳]. منبع پالیگورسکایت در خاک‌های آهکی- باتلاقی دشت ال هاسا در عربستان سعودی از مواد مادری با سن میوسن-پلیوسن به ارث رسیده است [۳۱].

کنگلومرای شنی مربوط به سازند بختیاری با سن پلیوسن-پلیوستوسن به عنوان جوان‌ترین ماده مادری دوران ترشیاری دارای کانی پالیگورسکایت کمتر از خاک‌های تشکیل یافته بر آن است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پالیگورسکایت را به صورت الیاف شکسته و با اندازه کوچک نشان می‌دهد (شکل ۲) که به احتمال زیاد گویای خاستگاه آواری و انتقالی بودن آن است [۳۲]. بنابراین دو خاستگاه توارثی و آواری برای حضور پالیگورسکایت در این خاک‌ها پیشنهاد می‌شود. بر اساس پژوهش کرمی و همکاران [۳۳]، خاستگاه بخشی از پالیگورسکایت موجود در خاک‌ها و ته نشست‌های جنوب مشهد به صورت آواری منتقل شده با باد در بادرفت‌های بدون تغییر است. الیاف کوتاه پالیگورسکایت در نمونه‌های ته نشست مورد بررسی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری نیز نتایج آنها را تأیید کرد. برای حضور پالیگورسکایت در رسوبات دلتایی منطقه بین‌النهرین، دو خاستگاه آواری و خودتشکیلی (همراه با دولومیت و گچ) پیشنهاد شد [۳۴].

گفته می‌شود که مرکز ایران بخشی از دریای تتیس قدیمی بوده است [۳۵]. در اواخر کرتاسه این بخش ایران از دریای اصلی جدا شده است، به طوریکه شکل گرفتن فلات ایران در

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

اصل به دوران ترشیاری و به ویژه میوسن نسبت داده می‌شود. در نتیجه کم شدن ارتباط دریای میوسن با دریای آزاد، دریاچه‌های کم عمق و شور تشکیل شدند. این تالاب‌ها محیط مناسبی را از نظر شیمیایی برای تشکیل رس‌های الیافی فراهم کرده است [۳]. وجود پالیگورسکایت فراوان در رسوبات با سن میوسن و پلیوسن در منطقه مورد بررسی نشان‌دهنده شرایط محیطی مشابه با ایران مرکزی در دوران سوم زمین‌شناسی است. الیاف در هم تنیده و با طول ۱۰-۵ میکرون پالیگورسکایت بیانگر تشکیل درجای بخشی از این کانی (علاوه بر خاستگاه توارثی) است. پژوهشگران بیان کرده‌اند که در ترشیاری، آب کم عمق و دمای بالا موجب افزایش pH و درنتیجه افزایش حلالیت سیلیس شده است [۳].

در منطقه مورد بررسی، حضور کانی پالیگورسکایت در مواد مادری سازند ساچون مربوط به سن کرتاسه- پالئوسن به اثبات رسید. درحالیکه در ایران مرکزی نخستین شواهد حضور این کانی در سنگ آهک‌های با سن الیگوسن- میوسن مشاهده شد. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که این منطقه نیز متاثر از دریاچه‌ها و تالاب‌های کم عمق پس از جدایی دریای تتیس بوده و شرایط اقلیمی و زمین‌شیمیایی برای تشکیل و گسترش پالیگورسکایت فراهم شده است. با این تفاوت که استان فارس این جدایی را زودتر از ایران مرکزی تجربه کرده است. حضور مقادیر زیادی از پالیگورسکایت در رسوبات قاره‌ای دوره ائوسن در کشور تونس گزارش شده است [۳۶]. براساس بررسی‌های پیشین، در رسوبات جوان‌تر دوران سوم زمین‌شناسی مقدار بیشتری از کانی پالیگورسکایت وجود دارد به طوریکه در رسوبات پلیوسن بیشترین مقدار این کانی دیده شده است. اگرچه از اواخر پالئوسن تا اوایل ائوسن بخش‌های مختلف دریای تتیس الگوهای متفاوتی از توزیع پالیگورسکایت را نشان داده‌اند. چنین به نظر می‌رسد که در ایران مرکزی شرایط تشکیل این کانی تا اواخر الیگوسن فراهم نبوده است [۲۳].

تجزیه مولفه‌های اصلی

خلاصه آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک در جدول ۳ آورده شده است. براساس رده‌بندی ارائه شده در مرجع [۳۷] ویژگی‌های خاک با ضریب تغییرات (CV) بیش از ۳۵ درصد دارای تغییرپذیری زیاد است. از این رو مقدار ضریب تغییرات به دست آمده نشان‌دهنده آن است که اغلب ویژگی‌های مورد بررسی از تغییرپذیری بالایی برخوردار هستند. pH و EC به ترتیب با ۳٫۸ درصد و ۲۶۸ درصد کمترین و بیشترین ضریب تغییرات را داشتند. بر این اساس از بین ویژگی‌های شیمیایی، رسانندگی الکتریکی و از میان ویژگی‌های کانی‌شناسی، پالیگورسکایت بیشترین ضریب تغییرات را نشان دادند.

جدول ۳ مشخصه‌های آماری پارامترهای خاک‌های مورد بررسی (N=۴۶).

متغیر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	چولگی	کشیدگی
EC (dSm^{-1})	۱٫۸۵	۲۶۸	۰٫۰۳۷	۱۱٫۱۷	۰٫۶۸۹	۱٫۰۲	۱٫۷۵
pH	۰٫۲۹	۳٫۷۹	۷٫۳۳	۸٫۷۷	۷٫۸۵	۱٫۰۴	۰٫۸۶
آهک (%)	۲۱٫۳۴	۳۰٫۶۴	۳۳	۹۹٫۵	۶۹٫۶۵	۰٫۱۳	-۰٫۹۶
گچ (%)	۱٫۱۲	۵۶٫۶	۰٫۰۲	۴٫۱	۱٫۹۹	-۰٫۳۲۷	-۰٫۸۴۲
OC (%)	۰٫۷۷	۱۲۰٫۷	۰٫۰۱۸	۳٫۲۴	۰٫۶۳	-۰٫۳۷	۱٫۱
Mg^{2+}/Ca^{2+}	۰٫۰۴۷	۵۲٫۳۵	۰٫۰۴	۰٫۲۵۴	۰٫۰۹	۰٫۷۷۲	۰٫۵۱۹
Ca^{2+} (mgl^{-1})	۱۸٫۷۶	۴۹٫۴	۱۰٫۵۵	۸۴٫۴۳	۳۷٫۹۷	۰٫۸۵۴	۰٫۲۲۴
Mg^{2+} (mgl^{-1})	۳٫۸۴	۹۸٫۷۹	۰٫۶۴	۱۷٫۵۶	۳٫۸۸	۰٫۳۳	-۰٫۰۶
H_4SiO_4 (mgl^{-1})	۳٫۵۲	۶۴٫۶۷	۰٫۷۰۹	۱۵٫۷۶	۵٫۴۴	-۰٫۷۰۹	۰٫۳۷۲
پالیگورسکایت (%)	۱۶٫۲۱	۵۳٫۴	۰	۵۵٫۳۴	۳۰٫۳۵	-۰٫۵۲۶	-۰٫۷۹۱
اسمکتیت (%)	۳٫۲۷	۴۲٫۳	۳٫۸۴	۱۷٫۴۵	۷٫۷۳	۰٫۴۹۳	-۰٫۴۲
ایلیت (%)	۳٫۹۳	۲۹٫۳۴	۸٫۶	۲۴	۱۳٫۴	۱٫۰۶	۰٫۳۶۷

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

جدول ۴ نتایج ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های مختلف مواد مادری و خاک‌ها را نشان می‌دهد. مقدار پالیگورسکایت با متغیر گچ همبستگی مثبت و با ویژگی آهک معادل (CCE) و اسمکتیت همبستگی منفی و معنی‌دار آماری دارند. با بررسی افق‌های کلسیکی، ژیپسیک و سالیک خاک‌های خشک و نیمه-خشک استان فارس، همبستگی مثبت مقدار پالیگورسکایت با مقدار گچ و آهک گزارش شده است [۲۹]. مقدار آهک در مواد مادری و خاک‌های منطقه مورد بررسی با گچ، کلسیم و منیزیم محلول، سیلسیم محلول و کل و کربن آلی رابطه منفی و با مقدار اسمکتیت و pH رابطه مثبت و معنی‌دار نشان داد. نتایج پژوهش خرمالی و همکارش [۳۸] بر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب ایران بیانگر این بود که رابطه معکوس بین پالیگورسکایت و اسمکتیت با مقدار رطوبت قابل دسترس خاک وجود دارد. آنها بیان کردند که وقتی نسبت میانگین بارش سالانه به میانگین تبخیر و تعرق گیاه مرجع بیش از ۰٫۴ باشد کانی پالیگورسکایت به اسمکتیت تبدیل می‌شود.

به منظور کاهش تعداد متغیرهای اندازه‌گیری شده و تشخیص موثرترین پارامترها در تشکیل و پراکنش پالیگورسکایت در خاک‌ها و مواد مادری مورد بررسی از روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. از آنجا که مولفه-های با مقدار ویژه کمتر از ۱ بیانگر توصیف بخش کمتری از واریانس توسط آن مولفه نسبت به هر یک از متغیرهای مورد بررسی است، بنابراین مولفه‌های اصلی با مقادیر ویژه ≤ ۱ برای تفسیر انتخاب شدند [۳۹]. نخست با انتخاب چند مولفه اصلی، سایر مولفه‌ها از محاسبات بعدی حذف می‌شوند. نتایج حاصل از تجزیه مولفه‌های اصلی نشان داد که ۴ مولفه اصلی با مقدار ویژه ≤ ۱ دربرگیرنده ۸۱٫۰۴ درصد تغییرات داده‌های اندازه-گیری شده هستند (جدول ۵). از آنجا که مولفه‌ها براساس مقدار اطلاعاتی که دارند مرتب می‌شوند، چند مولفه نخست در این تجزیه دارای بیشترین حجم اطلاعات مجموعه متغیرهای مورد بررسی هستند [۴۰] (شکل ۳). از این رو هنگام تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، متغیرهایی که دارای همبستگی خیلی بالا باشند، پس از انجام PCA محورها به گونه‌ای تغییر جهت داده می‌شوند که بیشترین واریانس را به خود اختصاص دهند.

چنان که مشاهده می‌شود مؤلفه PC1 با ۴۹٫۱۷ درصد واریانس داده‌ها دارای دامنه اطلاعات بیشتری نسبت به سایر مولفه‌هاست (جدول ۵). مولفه های PC2، PC3 و PC4 به ترتیب با ۱۴٫۱۷، ۹٫۷ و ۷٫۹۷ درصد با ارزش ویژه بزرگتر از یک بیشترین واریانس را نسبت به مولفه‌های پایین‌تر نشان دادند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مولفه‌های پایین‌تر در توضیح میزان تغییرات مشارکت کمتری دارند به طوریکه وجود تعداد متغیرهای کمتر با ضرایب ویژه بالای ۰٫۵ این مساله را تأیید می‌کند.

جدول ۴ ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های مختلف مواد مادری و خاک‌های مورد بررسی.

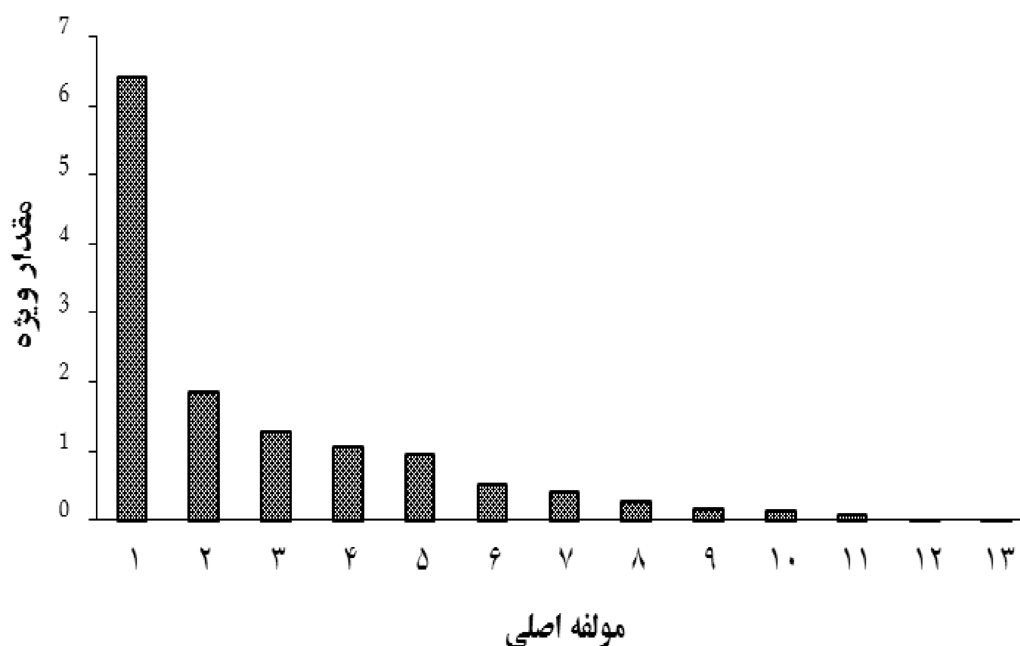
	Palygorskite	Smectite	Illite	CCE*	Gypsum	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Mg^{2+}/Ca^{2+}	H_4SiO_4	pH	EC	OC	Si
پالیگورسکایت	1												
اسمکتیت	-۰٫۴۴×	1											
ایلیت	-۰٫۱۷	-۰٫۱۱	1										
آهک	-۰٫۳۷×	۰٫۴۲×	۰٫۲۰	1									
گچ	۰٫۹۶××	-۰٫۳۲	-۰٫۱۴	-۰٫۳۴×	1								
Ca^{2+}	۰٫۱	۰٫۱۴	-۰٫۲۹	-۰٫۳۹×	۰٫۰۲	1							
Mg^{2+}	۰٫۱۸	۰٫۰۴	-۰٫۲۸	-۰٫۴۳××	۰٫۱۱	۰٫۸۸××	1						
Mg^{2+}/Ca^{2+}	۰٫۲۲	-۰٫۰۳	-۰٫۱۸	-۰٫۳۱	۰٫۱۹	۰٫۵۴××	۰٫۸۴××	1					
H_4SiO_4	۰٫۰۵	-۰٫۰۸	-۰٫۳۷×	-۰٫۷××	۰٫۰۴	۰٫۵۸××	۰٫۷××	۰٫۵۶××	1				
pH	-۰٫۰۷	۰٫۲۹	۰٫۱۸	۰٫۶۷××	۰٫۰۲	-۰٫۳۹××	-۰٫۳۹×	-۰٫۲۱	-۰٫۶××	1			
EC	-۰٫۰۶	۰٫۱۶	-۰٫۱۸	-۰٫۳	-۰٫۰۴	۰٫۲۷	۰٫۳۳	۰٫۳	۰٫۵۴××	-۰٫۰۹	1		
OC	-۰٫۰۷	-۰٫۲۳	-۰٫۳۱	-۰٫۸۲××	-۰٫۰۶	۰٫۴۱×	۰٫۴۲×	۰٫۳	۰٫۷۸××	-۰٫۷۴××	۰٫۳۲	1	
Si	۰٫۱۹	-۰٫۰۷	-۰٫۵۲××	-۰٫۷۹××	۰٫۱۵	۰٫۵۷××	۰٫۶۶××	۰٫۵۲××	۰٫۹۲××	-۰٫۶۵××	۰٫۴۸××	۰٫۸۱××	1

* آهک معادل

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

جدول۵ مقدار ویژه، سهم هر مولفه و واریانس تجمعی توصیف شده با استفاده از تجزیه مولفه‌های اصلی.

مولفه	مقدار ویژه	سهم (٪)	واریانس تجمعی (٪)
PC1	۶٫۳۹	۴۹٫۱۷	۴۹٫۱۷
PC2	۱٫۸۴	۱۴٫۱۷	۶۳٫۳۴
PC3	۱٫۲۶	۹٫۷۰	۷۳٫۰۶
PC4	۱٫۰۳	۷٫۹۷	۸۱٫۰۴



شکل ۳ مقادیر ویژه مولفه‌های اصلی حاصل به دست آمده از تجزیه مولفه‌های اصلی

ضرایب مولفه‌های حاصل از چرخش با استفاده از روش چرخش واریماکس و میزان سهم هریک از متغیرها در توضیح واریانس کل در جدول ۶ ارائه شده است. به طورکلی مقادیر حاصل از ضرایب ویژه در مولفه‌ها روابط پیچیده بین تعداد زیادی از متغیرها را نشان می‌دهند. مولفه نخست با بیشترین مقدار ویژه (۶٫۳۹) دربرگیرنده تعداد پارامترهای بیشتر با ضرایب ویژه بزرگتر نسبت به سایر مولفه‌هاست. این مولفه دربرگیرنده ویژگی‌هایی چون مقدار کلسیم و منیزیم محلول، نسبت منیزیم به کلسیم محلول، سیلیسیم محلول و کل و آلومینیم کل است. مولفه دوم شامل متغیر گچ، مولفه سوم دربرگیرنده ویژگی‌های اسمکتیت، آهک و کربن آلی و مولفه چهارم نیز شامل ایلیت، pH و EC است.

رگسیون چندمتغیره خطی (روش گام به گام)

با توجه به نتایج به دست آمده، مولفه‌های PC1 تا PC4 برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی و انجام محاسبات رگسیونی در نظر گرفته شدند. نخست ۱۳ متغیر اولیه پیشگویی‌کننده وارد مدل رگسیونی شدند که تنها یک متغیر از این مجموعه توسط مدل رگسیونی معنی‌دار و وارد محاسبات شد. بدین ترتیب، طبق پیش‌بینی، ۱۲ متغیر دیگر به علت رابطه هم‌خطی با این متغیر اولیه، اجازه ورود به محاسبات را پیدا نکردند. ازآنجاکه استفاده از این شیوه محاسباتی اعتبار پیش‌بینی را کاهش می‌دهد، مدل رگسیونی ارائه شده مورد توجه قرار نگرفت. برای آنکه بتوان مشکل هم‌خطی را حل کرد و سهم عمده‌ای از واریانس کل مجموعه متغیرهای پیشگویی را در پیش‌بینی‌ها دخالت داد، از

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده شد.

مقادیر مولفه‌های PC1 تا PC4 به عنوان متغیرهای مستقل (پیشگویی کننده) و مقدار پالیگورسکایت به عنوان متغیر وابسته وارد مدل رگسیونی خطی چندگانه شدند و رابطه زیر به دست آمد:

$$Palygorskite = 30.352 - 13.748\ PC4 + 3.841\ PC3 + 2.926\ PC2 \qquad (۱)$$

$$R^2_{adj} = 0.789$$

در این روش، آماره t برای مقدار ثابت و برای هر یک از مولفه-های PC2، PC3 و PC4 به ترتیب برابر با ۲۴٫۱۲۲، ۲٫۲۹۲، ۳٫۰۰۹ و ۱۰٫۷۶۹- به دست آمد. با استفاده از جدول t مقدار t برای سطح معنی‌داری ۵٪ و درجه آزادی ۴۵، برابر با ۲٫۰۱ است. مقایسه بین آماره‌ها و مقدار t جدول بیانگر این است که همه ضرایب در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند. بزرگی قدر مطلق آماره t اهمیت آن را در مدل ترکیبی رگسیون چندگانه و تجزیه مولفه‌های اصلی (MLR-PCA) نشان می‌دهد، بنابراین مولفه PC4 (شامل متغیرهای گچ، رسانندگی الکتریکی و کانی اسمکتیت) نسبت به مولفه‌های دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است و در نتیجه متغیرهایی که در این مولفه بارگذاری بزرگتری دارند برای برآورد مقدار پالیگورسکایت بیشتر، قابل توجه هستند.

در این تحلیل مشخص شد که پس از برازش، معادله (۱) با $R^2_{adj} = 0.789$ و سطح معنی‌داری ($P<F$ (0.0001> مدل مطلوبی برای برآورد مقدار پالیگورسکایت منطقه است. تجزیه مولفه‌های اصلی براساس ساختار واریانس مجموعه‌ای از متغیرها برای توصیف واریانس کل به کار می‌رود، به طوریکه با ترکیب خطی غیرهمبسته تعداد کمی از متغیرها می‌توان قسمت عمده اطلاعات موجود در متغیرهای اولیه را بیان نمود. تشکیل پالیگورسکایت در محیط خاک نیازمند شرایط زمین-شیمیایی ویژه‌ای است. همراهی پالیگورسکایت و افق‌های تجمع گچ و آهک احتمالاً به دلیل شرایط زمین‌شیمیایی است که در این افق‌ها پس از ترسیب کلسیم به شکل‌های آهک و گچ پدید می‌آید. چنین شرایطی با افزایش منیزیم محلول محیط مناسبی را برای تشکیل پالیگورسکایت فراهم می‌آورد [۴۱].

جدول۶ ضرایب مولفه‌های به دست آمده از روش چرخش واریماکس و مقدار سهم هر ویژگی در خاک‌ها و مواد مادری.

متغیر	PC1	PC2	PC3	PC4	COM
اسمکتیت	۰٫۰۶۳	-۰٫۲۵۴	۰٫۸۱۴	-۰٫۰۸۴	۰٫۷۳۸
ایلیت	-۰٫۲۱۶	-۰٫۰۳۴	-۰٫۳۴۱	۰٫۶۱۹	۰٫۵۴۷
آهک	-۰٫۱۰۹	-۰٫۴۴۴	۰٫۷۷	-۰٫۲۰۹	۰٫۸۴۷
گچ	۰٫۰۲۳	۰٫۹۳۸	-۰٫۲۲۴	-۰٫۰۹۳	۰٫۹۴
کلسیم محلول	۰٫۸۲۴	۰٫۰۵۵	۰٫۱۶۴	-۰٫۰۶۳	۰٫۷۱۳
منیزیم محلول	۰٫۹۵۳	۰٫۰۷۸	۰٫۰۴۳	-۰٫۰۳۴	۰٫۹۱۷
نسبت منیزیم به کلسیم محلول	۰٫۸۱۴	۰٫۰۸۲	-۰٫۰۵۴	۰٫۰۰۶	۰٫۶۷۲
سیلیسیم محلول	۰٫۷۶۴	-۰٫۱۶۲	-۰٫۳۴۳	۰٫۲۴۶	۰٫۷۸۸
pH	-۰٫۱۱۲	۰٫۲۲	۰٫۲۲۵	-۰٫۸۵۲	۰٫۸۳۸
EC	۰٫۴۳۵	۰٫۴۵۱	۰٫۱۱۲	۰٫۵۹۹	۰٫۷۶۴
کربن آلی	۰٫۱۷۹	-۰٫۲۱۴	-۰٫۶۷۹	۰٫۳۸۲	۰٫۶۸۵
سیلیسیم کل	۰٫۵۹۸	۰٫۵۷۷	۰٫۳۴۸	۰٫۱۸۳	۰٫۸۳۱
آلومینیم کل	۰٫۸۸۳	۰٫۱۲۱	-۰٫۱۸	۰٫۰۶۹	۰٫۸۴۶

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

مطالعه انجام شده در ایران مرکزی با استفاده از تجزیه مولفه‌های اصلی [۲۳] نشان داد که نسبت Mg^{2+}/Ca^{2+}، اسیدیته، مقدار سیلیس محلول و گچ بیشترین نقش را در تشکیل و پراکنش کانی پالیگورسکایت در خاک‌ها و مواد مادری منطقه دارند که بیانگر تشکیل درجای پالیگورسکایت از محلول خاک و در شرایط با تبخیر بالاست. پژوهشگرهای پیشین با بهره‌گیری از روش تجزیه مولفه‌های اصلی توانستند خاستگاه کانی پالیگورسکایت و کانی‌های همراه با آن را در موقعیت‌های مختلف یک کاتنای آهکی در فلسطین تعیین کنند. آنها ادعا کردند که در شیب‌های پایین کاتنا، مقادیر گچ و منیزیم محلول به عنوان مهمترین عوامل موثر در تشکیل این کانی عمل می‌کنند [۲۶]. در دیگر پژوهش‌ها نیز با بررسی خاک‌های منطقه بین‌النهرین بیشترین مقدار کانی پالیگورسکایت در خاک‌های گچی گزارش شده است [۴۲]. گفته شده است که در مناطق با بارندگی بیش از ۳۰۰ میلیمتر کانی پالیگورسکایت ناپایدار بوده و با تبدیل شدن به اسمکتیت از محیط خاک خارج می‌شود [۴۳]. بررسی انجام گرفته بر خاک‌های آهکی مناطق نیمه‌خشک جنوب ایران [۴۴]، کانی پالیگورسکایت در برخی خاک‌ها دیده شده و تشکیل آن در نتیجه تغییر شکل و تبدیل سایر کانی‌ها مانند ایلیت و اسمکتیت گزارش شده است.

برداشت

با توجه به نتایج ارائه شده، مقادیر قابل توجهی از کانی پالیگورسکایت در مواد مادری و خاک‌های مورد بررسی مشاهده شد. به طور کلی سه خاستگاه برای این کانی در خاک‌های منطقه می‌توان پیشنهاد نمود: به ارث رسیده از ماده مادری، خاکساز و در مواردی خاستگاه آواری. برپایه تجزیه مولفه‌های اصلی، موثرترین عوامل در تشکیل پالیگورسکایت در این مناطق مقدار اسمکتیت، گچ و رسانندگی الکتریکی، ایلیت، کلسیم و منیزیم محلول و نسبت Mg/Ca هستند. پالیگورسکایت در این منطقه همراه با افق‌های کلسیکی دیده شد که این می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل این کانی در یک محیط تبخیری باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نیز مؤید تشکیل درجای آن در مواد مادری و خاک‌هاست.

شواهد بیانگر این است که کانی‌های رسی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر به وسیله ماده مادری و تاریخچه زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شوند. وجود شرایط مردابی و زمین‌شیمیایی ویژه در دوره ترشیاری منجر به تشکیل آهک و گچ شده و با افزایش نسبت Mg/Ca محلول، محیط را برای تشکیل کانی‌های رسی الیافی در مواد مادری و خاک‌های منطقه فراهم نموده است.

مراجع

[1] Henderson S., Robertson R., "*A mineralogical reconnaissance in western Iran*", Resource Use Ltd., Glasgow, UK, (1958).

[2] Burnett A., Fookes P., Robertson R., "*An engineering soil at Kermanshah, Zagros mountains, Iran*", Clay Minerals 9 (1972) 329-343.

[3] Khademi H., Mermut A., "*Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran*", Clay minerals 33 (1998) 561-578.

[4] Khademi H., Mermut A., "*Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in Iranian Aridisols*", European Journal of Soil Science 50 (1999) 207-216.

[5] Owliaie H., Abtahi A., Heck R., "*Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran*", Geoderma 134 (2006) 62-81.

[6] Bigham J., Jaynes W., Allen B., "*Pedogenic degradation of sepiolite and palygorskite on the Texas High Plains*", Soil Science Society of America Journal 44 (1980) 159-167.

[7] Zaaboub N., Abdeljaouad S., López-Galindo A., "*Origin of fibrous clays in Tunisian Paleogene continental deposits*", Journal of African Earth Sciences 43 (2005) 491-504.

[8] Wander M., Bollero G., "*Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois*", Soil Science Society of America Journal 63 (1999) 961-971.

[9] Jiang P., Thelen K., "*Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn–soybean cropping system*", Agronomy Journal 96 (2004) 252-258.

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]

[10] Abtahi A., Khormali F., "*Genesis and morphological characteristics of Mollisols formed in a catena under water table influence in southern Iran*", Communications in Soil Science and Plant Analysis 32 (2001) 1643-1658.

[11] Fars Meteorological Bureau. From http://www.farsmet.ir/Amars.aspx.

[12] Soil Survey Staff, "*Keys to Soil Taxonomy*", 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. (2014).

[13] USDA-NRCS., "*Soil Survey Laboratory Methods Manual*", Soil Survey Investigations Report, No. 42, (1996).

[14] Jackson M.L., "*Soil chemical analysis: advanced course*", University of Wisconsin, Madison, WI., (1979).

[15] Johns W.D., Grim R.E., Bradley W.F., "*Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods*", Journal of Sedimentary Research 24 (1954) 242-251.

[16] Kaiser H.F., "*The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis*", Psychometrika 23 (1958) 187-200.

[17] Farpour M., Khademi H., Karimian Eghbal M., "*Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surfaces*", Iran Agricultural Research 21 (2002) 39-60.

[18] Heidari A., Mahmoodi S., Roozitalab M., Mermut A., "*Diversity of clay minerals in the Vertisols of three different climatic regions in Western Iran*", Journal of Agricultural Science and Technology 10 (2010) 269-284.

[19] Abtahi A., "*Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent materials under semiarid conditions in Iran*", Soil Science Society of America Journal 44 (1980) 329-336.

[20] Badraoui M., Bloom P.R., Bouabid R., "*Palygorskite-smectite association in a Xerochrept of the High Chaouia region of Morocco*", Soil Science Society of America Journal 56 (1992) 1640-1646.

[21] Kianian M., "*Soil Genetics as Affected by Topography and Depth of Saline and Alkali Ground Water under Semi-Arid Condition in Southern Iran*", In, The 18th World Congress of Soil Science, (2006).

[22] Lee S., Dixon J., Aba-Husayn M., "*Mineralogy of Saudi Arabian soils: eastern region*", Soil Science Society of America Journal 47 (1983) 321-326.

[23] Hojati S., Khademi H., Faz Cano A., Ayoubi S., Landi A., "*Factors affecting the occurrence of palygorskite in central Iranian soils developed on Tertiary sediments*", Pedosphere 23 (2013) 359-371.

[24] Farpoor M., Krouse H., "*Stable isotope geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of some soils and sediments in Loot Desert, central Iran*", Geoderma 146 (2008) 283-290.

[25] Bouza P., Simón M., Aguilar J., Del Valle H., Rostagno M., "*Fibrous-clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of northeastern Patagonia, Argentina*", Geoderma 139 (2007) 38-50.

[26] Verrecchia E., Coustumer M., "*Occurrence and genesis of palygorskite and associated clay minerals in a Pleistocene calcrete complex, Sde Boqer, Negev Desert, Israel*", Clay Minerals 31 (1996) 183-202.

[27] Khormali F., Abtahi A., Owliaie H., "*Late Mesozoic-Cenozoic clay mineral successions of southern Iran and their palaeoclimatic implications*", Clay Minerals 40 (2005) 191-204.

[28] Khormali F., Amini A., "*Clay mineralogy of the Jurassic-Tertiary sedimentary rocks of the Kopet Dagh basin (northeastern Iran): implications for paleoclimate*", Acta Geodynamica et Geomaterialia 12 (2015) 387-398.

[29] Jamshidi M., Abtahi A., "*Formation of calcic, gypsic and salic horizons in selected soils of southern arid and semiarid regions of Fars Province*", Iranian Journal of Soil and Waters Sciences (2001) 95-107.

[30] Singer A., "*Palygorskite and sepiolite group minerals*", Minerals in soil environments (1989) 829-872.

[31] Aba-Husayn M.M., Sayegh A., "*Mineralogy of Al-Hasa desert soils*", Clays and Clay Minerals 25 (1977) 138-147.

[32] Chamley H., "*Clay sedimentology*", Springer Science & Business Media, (2013).

[33] Karimi A., Khademi H., Kehl M., Jalalian A., "*Distribution, lithology and provenance of peridesert loess deposits in northeastern Iran*", Geoderma 148 (2009) 241-250.

[34] Aqrawi A., "*Palygorskite in the Recent fluvio-lacustrine and deltaic sediments of southern Mesopotamia*", Clay Minerals 28 (1993) 153-159.

[35] Krinsley D.B., "*A Geomorphological and Paleoclimatological Study of the Playas of Iran. Part II*", DTIC Document (1970).

[36] Jamoussi F., Ben Aboud A., López-Galindo A., "*Palygorskite genesis through silicate transformation in Tunisian continental Eocene deposits*", Clay Minerals 38 (2003) 187-199.

[37] Wilding L., "*Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys*", In, Soil spatial variability. Workshop, (1985) 166-194.

[38] Khormali F., Abtahi A., "*Soil genesis and mineralogy of three selected regions in Fars, Bushehr and Khuzestan Provinces of Iran, formed under highly calcareous conditions*", Iran Agricultural Research 20 (2001) 67-82.

[39] Sharma S., "*Applied multivariate techniques*", John Wiley & Sons, Inc., (1995).

[40] Manly B.F., "*Multivariate statistical methods: a primer*", CRC Press, (2004).

[41] Yaalon D., Wieder M., "*Pedogenic palygorskite in some arid brown (calciorthid) soils of Israel*", Clay Minerals 11 (1976) 73-80.

[42] Eswaran H., Barzanji A., "*Evidence for the neoformation of attapulgite in some soils of Iraq*", Trans Int Congr Soil Sci (1974) 154-160.

[43] Paquet H., Millot G., "*Geochemical evolution of clay minerals in the weathered products and soils of Mediterranean climates*", In, Proceedings of the International Clay Conference, Madrid(1972) 199-202.

[44] Emadi M., Baghernejad M., Memarian H., Saffari M., Fathi H., "*Genesis and clay mineralogical investigation of highly calcareous soils in semi-arid regions of southern Iran*", Journal of Applied Sciences 8 (2008) 288-294.

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.423]